# Capítulo




## Ciencia, tecnología y desarrollo[1]

*Karína Ferrando*

El ingeniero debería comprender que sus actividades profesionales afectan a todos los elementos de nuestra cultura, que un puente o un teléfono satisfacen necesidades económicas y sociales y poseen valores estéticos y culturales, así como elementos tecnológicos **[...]**

**Todo el** que esté algo interesado en comprender el pasado, en aprender cómo llegó a ser el presente tal como es, o en especular sobre el futuro —y ello debería incluir a todo hombre pensante—, debe preocuparse por la evolución de la tecnología y su relación con la sociedad y la cultura.

Melvin Kranzberg, "Al comenzar", nota introductoria al primer número de la revista *Technology and Culture*, publicación de la Society for the History of Techonology (SHOT), invierno de 1959-1960.

## LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

A menudo se utilizan conjuntamente los términos *ciencia* y *tecnología*, los que, a pesar de estar relacionados, no constituyen sinónimos y presentan características que les son inherentes a cada uno en particular.

Con el fin de contribuir a caracterizar estos conceptos, en el cuadro 1 se muestra lo que McGinn[2] denominó "una clarificación didáctica", distinguiendo la ciencia de la tecnología a partir de cuatro rasgos básicos en los que se pueden ver las similitudes y diferencias.

Para ampliar los lineamientos presentados en el cuadro, resulta de utilidad esta cita de Ferraro:[3]

A pesar de su frecuente uso, debemos aclarar que no existe la palabra de dieciocho letras *cienciaytecnología,* ya que son diferentes los objetivos, los intereses, la forma de trabajo, los actores, la protección de la propiedad de sus resultados y muchos más etcéteras de la ciencia y de la tecnología. Y cada día se diferencian más.

La dupla ciencia y tecnología provoca confusiones semejantes a las del triángulo descubrimiento/invento/innovación: se confunden las palabras y se las usa como si

[2] En Ciapuscio, 1994.
[3] Ricardo Ferraro, 2005.



| | *CIENCIA* | *TECNOLOGÍA* |
|---|---|---|
| **COMO PRODUCTO** | Como "conocimientos". Cuerpo de conocimiento organizado. Ejemplo: la ciencia médica moderna. | Como "productos" materiales de fabricación humana, artefactos. Ejemplo: el reloj, la computadora. |
| **COMO CAMPO DISCIPLINAR** | Un campo de investigación sistemático de la naturaleza. Ejemplo: la física, la química. | Como "una tecnología" se refiere al complejo de conocimientos, métodos, etc., usados en una cierta técnica. Ejemplo: muchas tecnologías constituyen el artefacto auto. |
| **COMO ACTIVIDAD HUMANA** | Como una forma de"actividad cultural humana". Ejemplo: los científicos. | Como una "práctica humana" distintiva. Ejemplo: los tecnólogos. |
| **COMO EMPRESA DÉLA SOCIEDAD** | Dedicada al estudio y la comprensión del mundo natural Ejemplo: la ciencia alemana, la ciencia latinoamericana. | Complejo de conocimientos, gente, habilidades, métodos y tecnologías dedicados a la Investigación, desarrollo y producción en una sociedad determinada. Ejemplo: la tecnología japonesa. |

fuesen sinónimos. En algunos casos se las toma de a dos, como si una fuese la causa y la otra el efecto. Sin embargo, cada una tiene un significado diferente. Se descubre lo que está cubierto pero existe y se inventan artefactos —o artificios— que no existían. La ciencia es una actividad humana que tiene por objeto indagar la naturaleza humana [...] La tecnología es otra actividad humana que estudia cómo dominar los fenómenos a través del desarrollo de procedimientos que permitan la aplicación de lo descubierto a la solución de los problemas del hombre. [Ferraro, 2005].

## RELACIÓN CIENCIA-TECNOLOGÍA

A menudo se trata a la ciencia (básica o pura) y a la tecnología como si fueran la misma cosa, dada la similitud de sus insumos y sus productos. Podemos afirmar

que la ciencia contribuye de manera sustancial a la tecnología, sirviéndole de fuente directa de ideas para intentar nuevas posibilidades tecnológicas; le provee herramientas y técnicas con el objeto de hacer diseños de ingeniería más eficientes, es fuente para el desarrollo y asimilación de nuevas habilidades y capacidades humanas, y finalmente permite evaluar los impactos de la tecnología a nivel social y medioambiental.

La tecnología sirve a su vez a la ciencia, pues le permite verificar hipótesis de manera experimental y plantea cuestionamientos que amplían la agenda de problemas a estudiar.

Las relaciones entre la investigación pública y la privada son cada vez más frecuentes,[4] por otra parte se multiplica la cooperación entre los centros de investigación bajo la forma de programas conjuntos, estudios comparativos, trabajo en redes, etcétera.

En materia de ciencia y tecnología el resultado esperado es la generación de conocimientos; pero no se trata de información fácilmente transmisible y aplicable directamente al sistema productivo: son procesos de búsqueda que pueden llevar mucho tiempo, y las habilidades están encarnadas en las personas e instituciones de investigación.

## FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA

En la tradición humanística la tecnología se entiende como algo más que sus aspectos materiales, y se la relaciona con los cambios de la cultura y la historia humana. La filosofía de la tecnología constituye un ámbito de reflexión relativamente reciente, en comparación con otros temas de interés filosófico como la ciencia o la moral. Este hecho no es independiente del cambio en las sensibilidades públicas respecto al cambio tecnológico y las tendencias de la filosofía contemporánea.

Los recientes enfoques historicistas y naturalistas en filosofía de la ciencia, y el desarrollo de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología (CTS) han favorecido una visión más realista y contextualizada de la ciencia y de sus relaciones con la tecnología, facilitando la toma de conciencia sobre la gran diversidad de problemas filosóficos específicos que plantea la tecnología.

los países desarrollados y en otros a partir de incentivos leg¡



La tecnología, por otro lado, ha sido tematizada como problema social en las últimas décadas, pasando a ocupar un lugar destacado en los medios de comunicación, los foros públicos y las agendas políticas. Con el intenso desarrollo tecnológico actual, se ha hecho especialmente evidente la estrecha dependencia de la economía, las instituciones y las formas de vida respecto de artefactos y procesos tecnológicos, así como las graves repercusiones ambientales o dilemas éticos y jurídicos suscitados por la energía nuclear, la biotecnología o internet. Como resultado de ambos factores, el interés por la tecnología adquiere en las últimas décadas un notable impulso y termina por hacer de ésta un objeto de estudio para el mundo académico.

Las nuevas orientaciones académicas y el cambio en la opinión públicas son, con todo, factores relacionados. La conceptualización académica de la tecnología, entendida como ciencia aplicada, no hacía más que reflejar un punto de vista cul-turalmente generalizado durante buena parte del presente siglo.

### La tecnología *no* es ciencia aplicada

Finalizada la Segunda Guerra Mundial se establece el conocido como contrato social para la ciencia. Con este contrato social cristaliza un modo determinado de entender las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad: el llamado "modelo lineal de innovación". Este modelo establece una relación lineal que va desde la generación de conocimiento científico básico hasta el bienestar social, pasando por la innovación tecnológica y el aumento de producción. La formulación de este punto de vista aparece con toda claridad en el informe de Vannevar Bush,[5] que sería la base de la política científica norteamericana durante aproximadamente dos décadas, una política congruente con las tesis principales del *establishment* académico. Las principales características de dicho modelo son las siguientes:

1. La tecnología se conceptualiza como ciencia aplicada. El desarrollo tecnológico depende de la investigación en ciencia básica. La investigación básica es el único modo de conseguir nuevo conocimiento.
2. El uso del nuevo conocimiento científico da lugar a resultados sociales positivos. La tecnología es la aplicación del conocimiento científico a la solución de problemas prácticos. Se equipara, de hecho, bienestar social a crecimiento económico y éste a innovación.

[5] Vannevar Bush, 1945.

3. La financiación de la investigación básica corresponde principalmente a los poderes públicos. El conocimiento científico es socialmente beneficioso, pero al no ser apropiable no sería desarrollado por agentes privados, por lo que debe ser el Estado el que se encargue de este cometido.

En esta conceptualización, como es evidente, la tecnología no plantea problemas epistemológicos o éticos destacables. Es un mero instrumento, un eslabón intermedio entre la ciencia y la satisfacción de demandas sociales. No es de extrañar que la tecnología pasara desapercibida durante mucho tiempo para la filosofía, las humanidades y las ciencias sociales (aunque existen algunas excepciones). Con el mencionado cambio en las sensibilidades públicas y académicas, entre finales de los años sesenta y principios de los setenta, el contrato social para la ciencia y la naturaleza misma de la relación ciencia-tecnología-sociedad, comienza a ser cuestionado tanto por la acción de movimientos sociales como por nuevos enfoques analíticos en las humanidades y las ciencias sociales.

Esos nuevos enfoques en el ámbito académico critican la conceptualización de la tecnología como ciencia aplicada.

Los principales argumentos en su contra son los siguientes:

- La tecnología modifica los conceptos científicos.
- La tecnología utiliza datos problemáticos diferentes a los de la ciencia.
- La especificidad del conocimiento tecnológico.
- La dependencia de la tecnología de las habilidades técnicas.

Estas cuatro líneas de argumentación no niegan necesariamente que exista relación entre la ciencia y la tecnología, lo que niegan es que esta relación sea exclusivamente la que se expresa en la comprensión de la tecnología como ciencia aplicada. De hecho, el trabajo empírico realizado sobre el cambio tecnológico desde diferentes disciplinas en las últimas décadas es útil para dilucidar algunos rasgos generales de la relación entre ciencia y tecnología:

1. La tecnología es producto del conocimiento tecnológico y de otros factores como valores, contextos sociales, económicos, políticos, etcétera.
2. El conocimiento tecnológico está formado por conocimiento codificado y por conocimiento tácito.
3. El conocimiento codificado está formado por conocimiento científico, por conocimiento tecnológico relacionado con la ciencia (contenido y método) y por conocimiento técnico no relacionado con teorías científicas.



4. En cada ámbito de desarrollo tecnológico particular la combinación de estos factores puede variar sustancialmente (por ejemplo, la relación ciencia-tecnología es muy estrecha en ámbitos como la biotecnología, y más distante en las tecnologías de producción mecánica o el transporte).

Liberada la tecnología de su conceptualización como ciencia aplicada, aparece como objeto de análisis epistemológicos, éticos y políticos.

Las investigaciones sobre estos temas conectan desarrollos en filosofía de la tecnología, filosofía de la ciencia y filosofía moral y política. El conocimiento científico no es sólo uno de los factores que influyen en la generación y remplazo de tecnologías, es también uno de los recursos con que cuentan las sociedades contemporáneas para controlar los efectos indeseados del desarrollo tecnológico.

Muchos autores analizan hoy cómo la nueva comprensión del conocimiento científico basada en estas tesis afecta la regulación de la tecnología y ayuda a controlar sus impactos ambientales y sociales.

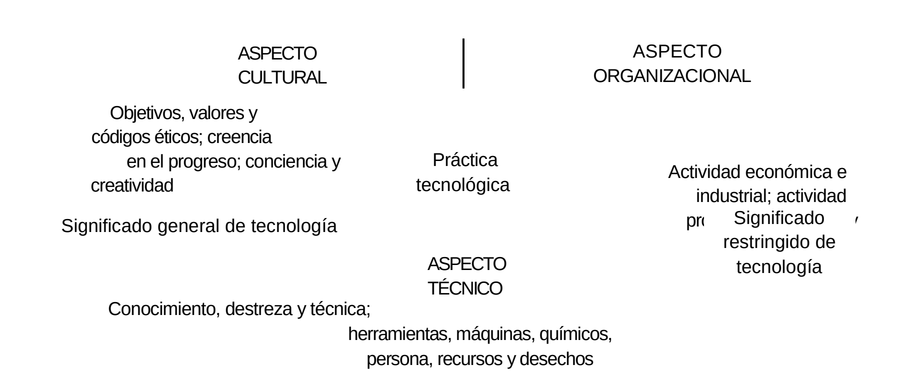
Es de esperar que la continuidad de los estudios de esta índole y su aceptación como campo disciplinario específico por parte del mundo académico concilie ámbitos de trabajo que se han dado la espalda tradicionalmente.

## Aportes de la cultura de la tecnología para la ingeniería

De acuerdo con Pacey,[6] en la comprensión de la dimensión cultural de la tecnología es preciso reconocer los ideales, los valores y la visión que alimentan cualquier innovación e investigación. Se reflejan en todos los aspectos de la práctica de la tecnología, desde las políticas económicas que influyen en su aplicación hasta la conducta profesional de los ingenieros y los técnicos, médicos y científicos.

El diagrama de las definiciones de "tecnología" y "práctica tecnológica"[7] que presentamos a continuación nos permite visualizar los aspectos que deberían tenerse en cuenta en la formación "cultural" de los ingenieros en cuanto tecnólogos:

[6] Pacey, 1990.
[7] Pacey, 1990, gráfica I, p. 19.




Retomando la distinción que plantea este autor entre tecnología en sentido restringido y tecnología en sentido amplio, es conveniente recordar que, en el primer caso, los valores culturales y los factores organizativos quedan fuera dé ella, reduciéndola completamente a sus aspectos técnicos. Tener en cuenta sólo esta perspectiva de que la tecnología se inicia y termina con la máquina, se ha dado en llamar visión de túnel en ingeniería.

> La visión de túnel en actitudes frente a la tecnología, se extiende mucho más allá de quienes han recibido educación especializada, pues afecta también la toma de decisiones políticas e influye en las expectativas populares [...] Pero todos estos problemas (seguridad militar, contaminación, cura del cáncer) tienen un componente social. Abrigar la esperanza de una solución técnica para cualquiera de ellos, que no incluya medidas culturales y sociales, es moverse en un terreno ilusorio [...] Muchos profesionales de la tecnología son muy conscientes de que los problemas que enfrentan tienen implicaciones sociales, pero no saben con certeza la forma de manejarlos. Considerar únicamente los detalles técnicos y dejar de lado otros aspectos, es la opción más cómoda y, después de todo, la manera en que fueron educados.[6]

## SOCIOLOGÍA DE LA TECNOLOGÍA

La sociología de la tecnología presenta tres enfoques dominantes:

1) El enfoque social-constructivista (Pinch, Bijker) se inspiró en el campo ya consolidado de la sociología del conocimiento científico. Es central en éste que los artefactos tecnológicos están abiertos al análisis sociológico, no sólo en cuanto al uso sino también en cuanto al diseño y al contenido técnico.

2) El segundo enfoque (inspirado por Hughes) trata a la tecnología en términos de metáfora de "sistemas". Esto apunta a atender a los distintos elementos interrelacionantes de artefactos, instituciones y su ambiente, y de ahí ofrece la integración de los aspectos técnicos, sociales, económicos y políticos.

3) El tercer enfoque (Callón, Latour, Law) extiende todavía más la perspectiva rompiendo la distinción entre actores humanos y fenómenos naturales. Ambos son atendidos como elementos de las "actor networks".

Estos tres enfoques comparten una característica que es el énfasis puesto en la "descripción gruesa", esto es, mirando lo que ha sido la caja negra de la tecnología (y para esto, la caja negra de la sociedad). Esto resulta en una riqueza de información detallada sobre los aspectos técnicos, económicos, sociales y políticos del caso estudiado.

Los científicos sociales han tendido a concentrarse en los "efectos" de la tecnología, en el "impacto" del cambio tecnológico sobre la sociedad.

Hablar de que la tecnología tiene efectos sobre la sociedad lleva a la idea de determinismo tecnológico. Esta teoría asume que la tecnología es un factor independiente y que los cambios en la tecnología causan cambios sociales; reclama que el cambio en la tecnología es la causa más importante del cambio en la sociedad. Según el determinismo tecnológico, la tecnología incide en la sociedad desde afuera de ella.

Pacey, 1990, pp. 25-26.

Al mismo tiempo existen versiones dramáticas que ven a la sociedad condicionada totalmente por la tecnología.

Muchas veces la entrada de una tecnología es resistida por una sociedad. Las características de una sociedad juegan un papel importante en decidir qué tecnologías ser adoptan.

Según Winner,[9] las tecnologías no son neutrales, pueden ser políticas inherentemente. Asimismo, los efectos de la adopción de una tecnología son de largo plazo además de sus consecuencias inmediatas.

Finalmente, las consecuencias tecnológicas son directamente biológicas y ecológicas tanto como sociales.

## ECONOMÍA DE LA TECNOLOGÍA

En el campo de la economía de la tecnología aparecen involucrados una serie de conceptos o temas que no pueden quedar fuera de la formación de los ingenieros si deseamos cumplir el objetivo de educarlos a partir una concepción moderna de la tecnología, la que surge de la revolución científico técnica del siglo XX, concibiendo el desarrollo tecnológico como respuesta a necesidades y problemas básicos sociales.

### Relación ciencia-tecnología (modelo iineal-modelo interactivo)

Es importante, al tratar la *relación ciencia-tecnología,* introducir la noción de cambio tecnológico, que puede ser entendida desde dos perspectivas.

Por un lado, se encuentra el modelo lineal de ciencia y tecnología,[10] que propone interpretar el cambio tecnológico como si fuera una reacción mecánica, secuen-cial, lineal, unidireccional y en cadena del tipo:

[s] Winner, 1990.
[10] OCDE, 1992.



Figura 2

*■ Desarrollo de ciencias básicas

■■ Innovación y desarrollo

---------- ►• Aplicación délas innovaciones

En este modelo la ciencia se considera un "bien gratuito", disponible, al que todos pueden tener acceso sin por ello agotarlo. Es por esta razón que el Estado (desde esta perspectiva) debería apoyar decididamente la investigación científica.

Este modelo supone que una demanda dinámica, combinada con un sistema abierto de intercambios comerciales, permitiría una difusión internacional rápida de la tecnología bajo la forma de informaciones fácilmente transmisibles, un mejoramiento de las maquinarias al incorporar la tecnología y una simplificación del aprendizaje debido a la experiencia acumulada.

Los supuestos de este modelo no se han cumplido, ya que el cambio tecnológico no depende sólo de la investigación y el desarrollo (I+D), sino de otras muchas actividades relacionadas: la educación, la formación profesional, la ingeniería de producción, el diseño, el control de calidad, etcétera.

Por considerar las relaciones entre ciencia y tecnología como si operaran en una caja negra, el cambio científico y tecnológico se trataba como si fuera un "factor residual" dentro de la función de producción.

Este enfoque desconocía que las relaciones generadas entre la tecnología, la sociedad y la economía son muy estrechas y que se generan vínculos de interdependencia, multiplicándose las retroalimentaciones entre los investigadores, los tecnólogos, los empresarios, los usuarios y, finalmente, los consumidores.

En respuesta a estas características y limitaciones, las escuelas de pensamiento neoclásicas heterodoxas, así como los economistas evolucionistas y regulacionis-tas, han forjado una serie de conceptos con base en los cuales se construirá un modelo que contempla estas interrelaciones, denominado interactivo.

## Cambio científico-tecnológico

El cambio científico y tecnológico depende de la ciencia básica, pero es imprescindible establecer un puente entre ésta y los conocimientos necesarios para que las empresas y la administración lleven a cabo sus actividades cotidianas. Las universidades y los organismos de investigación pueden contribuir a este acercamiento promoviendo la vinculación y difusión, para lo cual deberían contar con el apoyo gubernamental, por ejemplo en materia de promoción de tecnología agropecuaria e industrial. En consecuencia, la política científica debería proponerse desarrollar o crear y sostener una red de relaciones entre, por una parte, las instituciones donde se produce la ciencia y la tecnología y, por otra, aquellas donde se la utiliza mediante las llamadas ciencias de la transferencia[11] (ingeniería, entre otras), las que permiten resolver problemas reales derivados de actividades sociales y económicas.

El modelo interactivo entiende el cambio tecnológico como un proceso que atraviesa diversas fases, es endógeno, interactivo, acumulativo y se basa en el aprendizaje.

El progreso científico y tecnológico no tiene un carácter lineal, mecánico y determinista, ya que las sociedades pueden influir en su desarrollo si adoptan decisiones en cuanto a la orientación.

## Cambio tecnológico y modos de producción

La situación de la ciencia y la tecnología en América Latina y, por lo tanto, la innovación, tienen más relación con la ciencia de los países avanzados que con los sistemas tecnológicos de la propia América Latina. Una falla a reparar es lograr la vinculación o mejorar la relación entre los tres elementos del triángulo de Sábato:[12] gobierno-empresa-sistema científico.

El desarrollo industrial es de hecho un proceso de adquisición de capacidades tecnológicas en el curso de un cambio tecnológico continuo.

Son las políticas tecnológicas a través de sus programas, que incluyen instrumentos directos e indirectos, las que afectan el desarrollo de los países.

Existen además tres elementos clave a tener en cuenta, relativos a la innovación y el flujo de tecnología desde el extranjero a un país en desarrollo:

» OCDE, 1996.
[12] Sábato, 1979.



- adquirir tecnología extranjera;
- difundir de manera efectiva esa tecnología adquirida dentro de una industria;
- realizar esfuerzos locales para asimilar, adaptar y mejorar la tecnología importada y eventualmente desarrollar la propia.

Estos temas son cruciales a la hora de diseñar los instrumentos políticos destinados a promover la innovación.

## Paradigma técnico-económico

Un concepto relacionado con lo anterior, en tanto percepción de la realidad social y cambio tecnológico, es el de paradigma técnico-económico; de acuerdo con Dosi,[13] se entiende de la siguiente manera:

> como una combinación más eficiente de productos y procesos, interrelacionados con innovaciones técnicas, orgarúzacionales y de gestión empresarial, que promueven un crecimiento de la productividad de toda, o de una parte de la economía, reducen drásticamente los costos de numerosos productos y servicios, cambian la estructura de costos relativos y abren de manera inédita una nueva gama de oportunidades para las inversiones rentables.

En este sentido, suponemos que es el paradigma técnico-económico el que define contextualmente las necesidades que se deben satisfacer, los principios científicos a utilizar para realizar las tareas, las tecnologías materiales que se deben utilizar, las oportunidades tecnológicas para llevar a cabo innovaciones de algunos procedimientos básicos y la forma de explotarlos.

## ÉTICA DE LA TECNOLOGÍA

Hemos mencionado el "impacto" de la tecnología sobre las sociedades, también dijimos que la tecnología "no es neutral" y nombramos el "determinismo tecnológico"; ahora vamos a proponer una serie de interrogantes que nos permitirán reflexionar acerca de las cuestiones éticas vinculadas con la tecnología:

[B]Dosi, 2003.

- ¿Es responsable el tecnólogo por la utilización de sus investigaciones o de sus innovaciones?
- ¿Es la tecnología éticamente neutral?
- ¿Por qué los fines no justificarían los medios?

La tecnología no es éticamente neutral porque no es sólo un instrumento de la práctica humana sino también una forma de ella; la ética de la tecnología concierne a la práctica ética humana y sus problemas normativos.

Los problemas de ejecución por profesionales (como la asignación de costos, beneficio, riesgos) constituyen un campo de interés en sí mismos (conflictos sociales, de trabajo, ambientales, etcétera).

Históricamente encontramos, en principio, que el desarrollo de la tecnología refleja los más altos atributos de la inteligencia, la inventiva y la inquietud humana. Luego los hombres dan

> rienda suelta a cambios imponentes con un caballeresco desprecio por las consecuencias; empiezan a "usar" aparatos, técnica y organización sin prestar atención al modo como estos "instrumentos" intervienen inesperadamente en sus vidas; someten voluntariamente el gobierno de sus asuntos a la pericia de otros [...] La concepción elemental de la correlación fines-medios en la tecnología científica, básicamente incambiada desde Francis Bacon, era umversalmente aceptada como modelo de conducta técnica.[14]

En nuestros días todas las discusiones acerca de problemas éticos involucran dos importantes teorías contrapuestas: la deontológica (Kant) y la consecuencialista (James Mili, antecedente del utilitarismo).

La posición deontológica afirma que ciertas acciones son inherentemente correctas o incorrectas por sí mismas ("lo debido").

La posición consecuencialista sostiene que la corrección o incorrección de algo depende de sus consecuencias.

Ambas teorías se aplican en el nivel reflexivo de la respuesta moral.

Los problemas éticos más comunes que debe enfrentar el ingeniero son relativos a la ejecución; presentamos aquí tres ejemplos:

[14] Winner, 1979, p. 309.



- Justicia distributiva (asignación de costos, beneficios y riesgos). Determinar el riesgo aceptable no es cuestión meramente técnica; es social y psicológica. El ingeniero "ético" debe estimar costos, beneficios y riesgos.
- Otra condición en asuntos éticos vinculados con la profesión es el *whistle bloiving* (denunciar). El ingeniero debe denunciar negligencia de sus colegas o empleadores.
- Consideración de los efectos de largo plazo. El ingeniero tiene la obligación de evaluar todas las consecuencias de largo plazo.

Dice Winner:[15]

> la tarea fundamental es la de buscar modos más inteligentes de enfocar los cambios tecnológicos y sus posibles consecuencias tanto en la naturaleza como en la sociedad. Lo ideal aquí sería la posibilidad de prever todo el amplio abanico de consecuencias relevantes de antemano. Pudiéndose así determinar de manera precisa el riesgo de proceder de un modo mejor que de otro distinto.

Una última reflexión sobre aspectos éticos de la tecnología y su vinculación con la ingeniería resulta de comprender que, en la nueva sociedad, la "misión" del ingeniero es más amplia que aquella con la que se está formando en la actualidad. Hoy este profesional ha devenido tan responsable de los destinos de un país como los propios hombres de gobierno por la creciente significación que en la vida de las naciones han asumido las decisiones que involucran el uso y las consecuencias de la tecnología.

Para Ulrich Beck,[16] nos estamos encaminando hacia una nueva modernidad, en la cual el eje que estructura nuestra sociedad industrial ya no es la clásica distribución de bienes, sino más bien una "distribución de males". "La sociedad de riesgo —afirma— comienza donde termina la tradición, cuando en todas las esferas de la vida ya no podemos dar por supuestas las certezas tradicionales. Cuanto menos podemos confiar en las seguridades tradicionales, más riesgos debemos negociar" (Beck, 1998).

La ética de la ingeniería está constituida por la reflexión interna de la comunidad profesional de ingenieros acerca de los criterios no técnicos para la práctica de la ingeniería (en contraste, por ejemplo, con los criterios legales externos para la

[15] Winner, 1979, pp. 312-313.
[16] Beck, 1998, p. 10.

práctica de la ingeniería provistos por la sociedad). La ética de la ingeniería es, por tanto, una interfaz distintiva entre la tecnología y la sociedad, con un desarrollo y espectro de problemáticas que están fuertemente influidas por el carácter histórico de la ingeniería como profesión.

## CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

Al analizar las relaciones entre ciencia y tecnología y buscar su vínculo con la ingeniería, surge una pregunta:

¿La ingeniería es ciencia o tecnología?

Las diversas ramas de la ingeniería se incluyen, según la OCDE,[17] entre las ciencias de la transferencia, cuya actividad está dirigida a resolver problemas que surgen de las actividades sociales y económicas.

Las ciencias de la transferencia juegan un papel esencial en proporcionar una interfase entre el mundo de la ciencia pura y el de la industria o la problemática social. Investigan problemas concretos surgidos en todos los campos del entorno humano; vistas como campos o disciplinas las ciencias de la transferencia pueden sacudir las fronteras que separan la ciencia de la tecnología, las estructuras en que se dan pueden, en algunos casos, generar innovaciones tecnológicas y conocimientos científicos. Sus fronteras no están siempre claramente definidas, ellas son frecuentemente multidisciplinarias y sus desarrollos analíticos reflejan ampliamente necesidades sociales y económicas. Sus funciones incluyen aquellas de cualquier disciplina científica, junto con la finalidad de emprender o mejorar proyectos técnicos.

### Fundamentos para la discusión

Hace casi dos décadas que se viene produciendo una serie de fenómenos que han obligado a los especialistas a replantear y redefinir la personalidad y el perfil profesional del ingeniero del siglo XXI, así como el sistema de educación y capacitación para la ingeniería que satisfaga los requerimientos de este siglo.

[17] OCDE, 1996.



Los fenómenos más destacados en este sentido son:[18]

- la globalización en el campo de la tecnología: mayor variedad y número de objetos técnicos (máquinas, instalaciones, fábricas) y de procedimientos técnicos usados simultáneamente en distintas partes del mundo, aparición de los sistemas técnicos mundiales;
- aparición de nuevas tecnologías que se originan en la "zona fronteriza" de los dominios tecnológicos clásicos (mecánica, ingeniería eléctrica, electrónica) y de disciplinas tales como biología, medicina, química (biotecnologías, nano-tecnología, "nano-bots" —nano-robots, computadoras ópticas, redes neurales, neurochips—, implantes interfaz cerebro-computadora, mapeo del genoma humano, ingeniería genética);
- expansión de computadoras, ciencia de la computación, computarización total (en el siglo XXI probablemente no existirá ninguna máquina, motor o ningún otro conversor de energía o movimiento sin microchips, microprocesadores o computadoras de control);
- revolución en la esfera de la intercomunicación (internet, redes multimedia, transmisión satelital) y sus consecuencias: aparición de nuevos métodos de organización del trabajo, servicios de provisión, actividades económicas y financieras, así como nuevos sistemas de educación y capacitación profesional (telebanca, técnicas de educación a distancia);
- aparición y aumento de personal gerencial internacional (o trasnacional) con raíces ingeníenles y de ingenieros capaces de manejar la tecnología mundial-mente propagada, independientemente del país o región;
- rápida devaluación de los conocimientos tecnológicos, aumento de la brecha generacional entre los ingenieros preparados para manejar determinadas generaciones de máquinas y dispositivos técnicos;
- creación de sistemas de capacitación profesional para ingenieros dentro de las compañías y corporaciones trasnacionales, independientes de los sistemas "nacionales" tradicionales de capacitación y educación;
- crecimiento e intensificación del conflicto entre la necesidad de una síntesis amplia de los conocimientos tecnológicos y gerenciales y las necesidades tradicionales de una especialización angosta y profunda del conocimiento tecnológico.

Esta lista de nuevas situaciones es un punto de partida interesante para analizar los diseños curriculares vigentes y verificar su correlación con las mismas.

[16] Miszalski, 2001.

## La ingeniería como campo de trabajo relacionado con la tecnología

Con la intención de diferenciar la ingeniería de la ciencia aplicada, Sobrevila[19] confeccionó un cuadro en el que intenta clasificar los campos de trabajo de distinta naturaleza y su relación con la tecnología, marcados por el ritmo de trabajo que cada tarea impone. Se pretende destacar que el científico no tiene "plazo de entrega" para sus trabajos, mientras que el ingeniero, en su vida profesional, hace un proyecto y se desvela por lograr el cumplimiento del mismo para una fecha determinada de antemano.

Este autor sostiene que al ingeniero no se le debe inculcar una formación puramente científica, porque se habitúa a una forma de trabajo que no es la que encontrará en su vida profesional.

**Cuadro 2** **Clasificación tentativa de los diferentes campos de trabajo relacionados con la tecnología**

| *Campo* | *Profesionales que intervienen* | *Tipo de tarea que realizan* | *Ritmo de trabajo* |
|---|---|---|---|
| Campo de las ciencias puras | Doctores y licenciados en ciencias físico-matemáticas. Eventualmente, algún ingeniero con vocación científica. | Búsqueda del conocimiento. Descubrimiento de las leyes de la naturaleza. Ordenamiento general de los conocimientos y generación de doctrinas. Es una metafísica. | Se trabaja con calma, sin el apremio de una fecha de entrega, ni de un contrato. Los objetivos, por lo regular, los determina el mismo investigador. |
| Campo de las ciencias aplicadas | Doctores y licenciados en ciencias físico-matemáticas que trabajan en equipo con ingenieros que tienen una maestría o doctorado en ingeniería y técnicos especialmente preparados. | Se recogen los conocimientos de las ciencias puras y se elaboran para su aplicación en la ingeniería y los asuntos prácticos. Por lo regular, se hacen prototipos, modelos o unidades para ensayos. | Se trabaja con objetivos fijados de antemano por necesidades industriales o por políticas concretas, por lo regular con plazos determinados, pero flexibles. |

Sobrevila, 1995, pp. 47 y ss.



**Cuadro 2** **Clasificación tentativa de los diferentes campos de trabaj o relacionados con la tecnología *(continuación)***

| *Campo* | *Profesionales que intervienen* | *Tipo de tarea que realizan* | *Ritmo de trabajo* |
|---|---|---|---|
| Campo de la profesión del ingeniero | Ingenieros de grado, o ingenieros con maestría o doctorado, según corresponda, secundados por técnicos y auxiliares. | Proyecto, construcción y operación de obras y componentes de alta complejidad, con gran dosis de creatividad y con responsabilidad total, incluso económica, administrativa y ética por los resultados generales. | Se trabaja con fuerte ritmo empresario, con plazos de entrega rigurosos y contratos. Se observan objetivos comerciales en los que todos los días existen severos compromisos a cumplir y problemas de nuevo tipo, muchos de ellos interdisciplInarios, humanos y económicos. |
| | Profesionales menores de la Ingeniería, con carreras universitarias de corta duración, que actúan como auxiliares o asistentes de los ingenieros superiores. | Trabajos repetitivos de cálculos, planos y especificaciones a partir de normas y procedimiemtos elaborados por ingenieros superiores, con empleo total de los medios computacionales. | |
| | Técnicos de escuelas medias, supervisores y capataces de alta experiencia, con estudios adecuados. | Operaciones bajo especificaciones, planos o directivas con limitadas responsabilidades. | |
| | Operadores laborales, mano de obra calificada y operarios en general. | Trabajos bajo directivas totales, con limitada responsabilidad. | |

## ¿Formar generalistas o especialistas?

Si la universidad debe dotar al ingeniero de una capacitación de tipo general o altamente especializada es asunto de continuo debate.

- Educación generalizada es aquella que forma al ingeniero con una base muy amplia, nutrida con los fundamentos de todas las ingenierías o, al menos, un sustrato de las bases científicas de todas ellas.

• Educación especializada es aquella que, en cambio, aborda inmediatamente la especialidad seleccionada, procurando alcanzar las fronteras del conocimiento en esa franja de la ingeniería.

Las dos tendencias tienen que ver con la formación integral del ingeniero (y por qué no, de todas las profesiones menores con ella relacionadas), y en este sentido es preciso congeniar la formación técnica con la humanística. Por su forma de pensar y por el entrenamiento que ha recibido para aceptar la multiplicidad de conocimientos, el generalista será el más propenso a ser también el más humanista. El especialista es, por lo regular, un ser más aislado en lo suyo, en su círculo. El generalista, al tener que tratar con profesionales de otras áreas diferentes a la suya, tendrá una tendencia a buscar en lo humanístico los recursos que le faciliten realizar su labor.

Para Sobrevila,[20]

> lo fundamental de un ingeniero no es tanto su particular conocimiento de tal o cual campo de la ingeniería, sino su actitud frente al problema. Lo importante es pensar como un ingeniero, usando la capacidad de análisis y la capacidad de síntesis, la aptitud para estudiar continuamente, aprender y mantenerse al día sobre la base de los conocimien-tos adquiridos, con gran predisposición para cambiar de especialidad a medida que los cambios del mundo hacen aparecer nuevas tecnologías y se toman obsoletas otras, y con gran generosidad en materia de investigación y desarrollo de temas nuevos.

| | *Formación especializada* | *Formación generalizada* |
|---|---|---|
| **VENTAJAS** | Permite contar con graduados capaces de alcanzar las fronteras del conocimiento en una especialidad dada. Es la carrera de los grandes y renombrados especialistas. | Permite contar con graduados capaces de alcanzar las más altas posiciones de mando empresario e industrial. Es la línea de los futuros gerentes y directores y de altos funcionarios del Estado. |
| **DESVENTAJAS** | Forma tecnócratas aislados en sí mismos, conocedores de una faja estrecha del saber y del mundo, con poca comprensión de los problemas generales. | Forma generalistas presuntuosos con vanidad científica, poco aptos para comprender el mundo del hombre humilde de trabajo y todo aquello que no integra su mundo elitista. |

Sobrevila, 1995, p. 54.

Ambas formas de preparación pueden subsistir armoniosamente, pero la universidad debe proveer a ambas su cuota de realidad y de sensibilidad social para una adecuada integración con el medio y el desarrollo de una vocación de servicio, por sobre todas las cosas. Ambos modelos están atravesados por la inclusión de la formación humanística como un elemento importante para el futuro profesional.

## Nuevos requerimientos y diseños curriculares

Si analizamos históricamente el perfil profesional del ingeniero y los requerimientos de formación acordes al mismo, veremos que se ha producido un recorrido que va desde el ingeniero "tradicional", vinculado estrechamente con la línea de producción, tal vez más especialista en los términos antes definidos, hacia el "ingeniero "gerencial", con tareas de gerenciamiento y liderazgo, más generalista en su formación.

Podríamos decir que este recorrido ha sido marcado a partir de los requerimientos del mercado laboral y la aparición e incorporación de nuevas tecnologías a los modos de producción, que de alguna manera se tradujeron en una serie de nuevas características en el perfil profesional esperado.

De acuerdo con todos los fenómenos, características y perfiles que hemos mencionado en este capítulo, podríamos resumir lo dicho en el siguiente cuadro, cuyos datos surgen de un estudio realizado por Míszalski[21] en verano de 2000 entre ingenieros de distintas especialidades con cinco o seis años de experiencia profesional que fueron requeridos acerca de cuáles serían las características que debería tener un ingeniero en el siglo XXI; el resultado se sometió a la evaluación de expertos y es el siguiente:

> El ingeniero orientado hacia la actividad profesional en el ámbito empresario transitará seguramente cuatro funciones diferentes, aun cuando su rápida integración a la empresa pueda obviar alguna de ellas:
>
> - Como especialista, estará a cargo de una o varias técnicas en el ejercicio del campo especifico de su especialidad.
> - Como experto, surgido entre los especialistas podrá crear nuevas técnicas haciendo evolucionar su especialidad.
> - Como gerente, podrá poner en práctica aptitudes personales para conducir hechos, dirigir personas y orientarlas al logro de resultados efectivos. Deberá

Miszalski, 2001, figura 2.

**Cuadro 4 Características personales y perfiles profesionales /del ingeniero del siglo XXI**

*Características personales requeridas*

Pasión por la tecnología
Creatividad
Capacidad Innovadora
Iniciativa y compromiso con el progreso tecnológico
Adaptabilidad (flexibilidad)
Capacidad de autosuperación
Habilidad en la aplicación de computadoras en el trabajo diario (redes) - Dominio de idiomas extranjeros ' Maestría de conocimientos y capacidad profesionales ■ Capacidad de gerenciamlento y liderazgo
• Cumplimiento de principios éticos profesionales de la ingeniería
• Firme creencia en la misión civilizadora de la tecnología

*Perfiles profesionales esperados*

• **PERFILES "TRADICIONALES'TODAVÍA VIGENTES:**
Mecánica, Ingeniería civil, construcción, Ingeniería eléctrica, comunicaciones, electrónica, automatización, ingeniería aeronáutica, construcción de barcos, ingeniería minera, ingeniería química
• **NUEVOS PERFILES:**
Ingeniería nuclear, Ingeniería espacial, Ingeniería en sistemas (redes de computación), ingeniería ambiental, ingeniería blomédica, Ingeniería en control de calidad (gerenciamiento de calidad), mecatrónica, robótlca, ingeniería en sistemas de seguridad
• **PERFILES ESPERADOS:**
Microingeniería (mícromáquinas, nanotecnología, nanorrobots), ingeniería en conversión de energía, ingeniería en logística (almacenaje, distribución, transporte, sistemas de servicio), ingeniería de gerenciamlento

adoptar decisiones y enfrentar con serenidad las ambigüedades e incertidum-bres. Deberá establecer normas y métodos para el control de gestión.

• **Como dirigente surgido de entre los gerentes,** estará en condiciones de generar iniciativas y prever con anticipación los cambios. Deberá saber delegar y supervisar, y generar los cursos de acción. El desarrollo de una visión acorde a la realidad económica, estableciendo las estrategias para alcanzar dicha visión constituye el rasgo distintivo de la personalidad del dirigente.

En este sentido, las variaciones en cuanto a la proporción de conocimientos en las distintas áreas de formación deberían (para acompañar las nuevas tendencias) modificarse teniendo en cuenta el siguiente cuadro:



**Esferas y proporciones de los conocimientos del ingeniero del BÍRIO XXI[a]**

| | | *Ingeniero "clásico"* | *Ingeniero Investigador* | *Ingeniero* |
|---|---|---|---|---|
| 1 Conocimientos generales no tecnológicos | Matemática<br>Física<br>Química<br>Biología<br>Ecología<br>Teoría general de sistemas | 15% | 20% | 15% |
| 2 Conocimientos tecnológicos generales | Mecánica, mecatrónica<br>Ing. eléctrica, electrónica<br>Ciencias de la computación, ingeniería en comunicaciones | | | 20% |
| 3 Conocimientos tecnológicos especializados | Robótica, microingeniería<br>Ingeniería del transporte<br>Ingeniería en producción y conversión de energía | | | 25% |
| 4 Conocimientos gerenclales | Economía<br>Teoría del gerenciamlento<br>Marketlng<br>Banca<br>Logística<br>Derecho (regulaciones legales para la organización) | | 5% | 25% |
| 5 Conocimientos humanísticos | Filosofía<br>Ética<br>Psicología<br>Sociología<br>Idiomas extranjeros | | | 15% |

[1] Miszalski, 2001, figura 3.

Las expectativas que se presentan hoy a los ingenieros que trabajan en el ámbito empresario son muy distintas a las que tenían 20 o 30 años atrás. Es más frecuente el cambio de empleo. Los ingenieros trabajan más en equipo, y la industria realiza menos investigación fundamental a largo plazo. Las empresas entregan a

terceros mucho de su trabajo, apoyándose en los ingenieros para actuar más como administradores de tecnología que como profesionales en el sentido clásico.

Para Linsingen,[22] lo que antes se admitía como necesario para actuar conforme con la profesión, es decir, sólido conocimiento técnico especializado para una vida profesional inamovible, viene siendo gradualmente sustituido por una capacidad de adaptación rápida a nuevos conocimientos para una vida profesional cambiante. Además, la misma vida profesional se torna cada vez más dependiente de la capacidad de percepción de las profundas relaciones sociales y ambientales de la actividad tecnocientífica, lo que implica al individuo percibirse involucrado en la construcción de una sociedad más tolerable.

## Internacionalización de los requerimientos

Fenómenos como la globalización o la denominada sociedad del conocimiento llevan cada vez más a plantear la formulación ya no del perfil de ingeniero ideal para Argentina, sino que existen acuerdos acerca de cuáles son los requerimientos profesionales a nivel regional (Mercosur) e internacional.

Las modificaciones o tendencias ya delineadas en países con alto grado de desarrollo a partir del nuevo escenario internacional afectan el perfil de los ingenieros requeridos en estos aspectos:[23]

- La reestructuración de las empresas hace que se externalicen muchos servicios relacionados con las ingenierías y que no son considerados críticos para el negocio. El mayor coeficiente de subcontratación de servicios permite un aumento de la flexibilidad y una reducción del costo salarial; entre otras, se tercerizan tareas cálculo-intensivas, procesamiento electrónico de datos centralizado, logística y distribución, etc., que realizan ingenieros pero actuando en forma independiente.
- Los talentos personales, el manejo de idiomas no nativos y la diversidad de la experiencia adquirida ponderarán significativamente en las decisiones de contratación.
- Los ingenieros ven ampliado su campo de acción (en las empresas), especialmente hacia tareas de administración, marketing, seguros, bancos, finanzas, aseguramiento de calidad, control ambiental, etcétera.

[22] Linsingen, 2008.
[23] IEEE Spectrum, 1990,1992,1993; *Newsweek*, citado en Fuchs y Vispo, 1995, pp. 25 y ss.



- Los profesionales de las ingenierías deberán aceptar diversas formas de recalificación frecuente *(skill upgrading), así* como trabajar en áreas posiblemente alejadas de su calificación formal de origen.[24]
- Muchos ingenieros, al igual que otros profesionales, deberán dejar de lado los vínculos de largo plazo con un empleador y buscar asociaciones de profesionales independientes o comenzar sus propios emprendimientos.
- El mercado probablemente funcionará con desocupación semipermanente para un significativo número de profesionales, aun cuando se sigan demandando cada vez más ingenieros. Esto implica la existencia de mercados segmentados con una creciente diferenciación interna; la adaptabilidad y flexibilidad de los profesionales será vital para una secuencia de inserción-recalificación-reinserción exitosa a lo largo de la vida laboral.
- Durante los últimos años el perfil de remuneraciones en algunos países altamente desarrollados ha mostrado que los ingenieros trabajando como no ingenieros tienen mayores ingresos promedio que los ingenieros clásicos trabajando en materias cercanas a su formación. Por otro lado, aquellos que desempeñan tareas próximas a su competencia, pero incorporando un ámbito más amplio, ganan a su vez mejores salarios que los que restringen su acción exclusivamente a la temática ingenieril.
- Junto con las industrias de maquinaria y bienes de capital, los mayores demandantes de ingenieros han sido las grandes firmas de consultoría.
- Las proyecciones de demanda de ingenieros tienden a estar sesgadas por la coyuntura. Muchos de los esfuerzos por estimular la producción de nuevas calificaciones ingenieriles en sociedades que combinan mercado con planificación indicativa han resultado en sobreproducción. Este exceso de inversión es el costo de minimizar el riesgo de tener "cuellos de botella" en las tecnologías críticas.
- En los Estados Unidos los "pequeños empleadores de alta tecnología" son uno de los segmentos de crecimiento económico más dinámico, y, por ende, muestran una sostenida demanda de ingenieros.

## Atributos del ingeniero

En la actualidad, dice Winner, dada la evidente intensificación de los procesos de transformación tecnológica y la centralidad de la tecnología en las relaciones socia-

[24] En este sentido el título de ingeniero no alcanzará para acceder a los mejores puestos, debiendo complementarse, por ejemplo, con un MBA (master en administración de negocios).

les, se reforzó el supuesto de la necesidad para un desempeño adecuado de la función del ingeniero de combinar un sólido conocimiento tecnocientífico con la voluntad constante de resolver problemas prácticos con eficiencia y creatividad (Winner, 2000). Para Linsingen[25] sin duda esos criterios no son suficientes para caracterizar la función del ingeniero, pero parecen delimitarla con bastante precisión, ya que ante la falta de alguna de ellas tendríamos un ingeniero con deficiencias importantes para atender las "exigencias" profesionales. Como consecuencia los ingenieros deben poseer otros atributos —incluso de carácter humanístico— que amplíen su capacidad de acción profesional para poder atender las demandas sociales.

La creatividad y la versatilidad en la formación de profesionales de la ingeniería es necesaria en la sociedad contemporánea, dado que ésta requiere de cada vez más "especialistas temporales", dado el vertiginoso ritmo de cambio tecnológico actual y los breves periodos en que hoy parecen caducar muchos contenidos de conocimiento.

Linsingen, 2008.